

PATOLOGÍA Y TERAPEÚTICA ESTRUCTURALES

Luis J. Lima¹

1. Presentación

Los materiales disponibles y los tipos estructurales:

La naturaleza le ofrece al hombre materiales rápidamente perecederos, como las fibras vegetales o los cueros, y otros que no lo son tanto. En las construcciones destinadas a prestar servicio durante períodos más o menos largos, que son las que hoy nos ocupan, se emplean esencialmente estos últimos. Entre ellos, los más comunes son: el adobe, la piedra y, bajo ciertas circunstancias, las maderas. Luego, tecnología mediante, el hombre comienza a imaginar (proyectar) y fabricar materiales con características diversas de las que poseen los que la naturaleza pone a su disposición, aparecen así los cerámicos (básicamente el “ladrillo”); los conglomerados hidráulicos del tipo del hormigón; las aleaciones metálicas, como el bronce y el acero; y, más recientemente, los materiales sintéticos. Finalmente, hace poco más de un siglo y medio, el hombre descubre que combinando *racionalmente* dos o más de ellos, puede obtener resultados mucho más versátiles, efectivos y eficientes: nace así una nueva generación de materiales de construcción, el más común de los cuales es el hormigón armado. Con estos pocos componentes el hombre ha imaginado y construido, a lo largo de su historia, una enorme cantidad de tipos estructurales. Entre ambos conjuntos, materiales y tipos estructurales, existen afinidades de distinto tipo, lo que significa que hay formas estructurales más aptas para construir con unos materiales que con otros¹, cosa a tener muy en cuenta frente a una obra existente.

Idea del hormigón armado

Este material tan particular, suele resultar el más apto para intervenciones reparadoras en los elementos resistentes de construcciones de valor histórico o artístico debido a su versatilidad y adaptabilidad resistentes; esto significa que se puede materializar con él, en cada zona y dentro de límites muy amplios, el elemento resistente que presente las características más adecuadas por su forma, resistencia y deformabilidad. Es por ello una solución para tener siempre presente frente a problemas como los que hoy nos ocupan. Al *hormigón armado*, *pretensado* o no, que constituye el componente más utilizado dentro de la familia del *hormigón estructural*, se lo puede definir de la siguiente forma: “sistema resistente bifásico, constituido por hormigón y armaduras, en el cual el hormigón aporta durabilidad, estabilidad de forma, masa, resistencia a compresión y *capacidad para almacenar energía de deformación*, y las armaduras aportan resistencia a tracción, ductilidad y, llegado el caso, *capacidad para generar la energía de deformación* que el hormigón almacena”. El hábil manejo de todas estas variables es lo que le da al hormigón armado la posibilidad de poseer las ventajas antes señaladas.

¹ LEMIT - CIC

Síntomas y patologías

Cuando un elemento resistente sufre problemas de comportamiento o de durabilidad, es decir, cuando presenta algún tipo de *comportamiento patológico*, en general lo pone de manifiesto mediante *síntomas* evidentes de que algo no funciona bien. Lo que ocurre en la práctica es que se tienen muy pocos *síntomas*: fisuras descascaramientos, deformaciones, manchas; para poner de manifiesto un enorme conjunto de estados patológicos. Ello conduce a que una buena solución a cualquier problema de esta naturaleza requiera estudio, meditación y, fundamentalmente, experiencia. Si, por ejemplo, los síntomas indican que ha habido un descenso de apoyo (apoyo 3 de fig. 1), ello puede deberse a diversas causas: que el apoyo se ha sobrecargado; que el terreno de fundación ha perdido capacidad portante, por lo que requiere mayores deformaciones para producir la misma reacción; que el terreno se ha desnivelado, pero sin perder capacidad portante; etc. La importancia de “saber” que es lo que ha pasado radica en el hecho de que cada una de estas situaciones requiere una solución distinta, muchas veces contrapuestas entre sí.

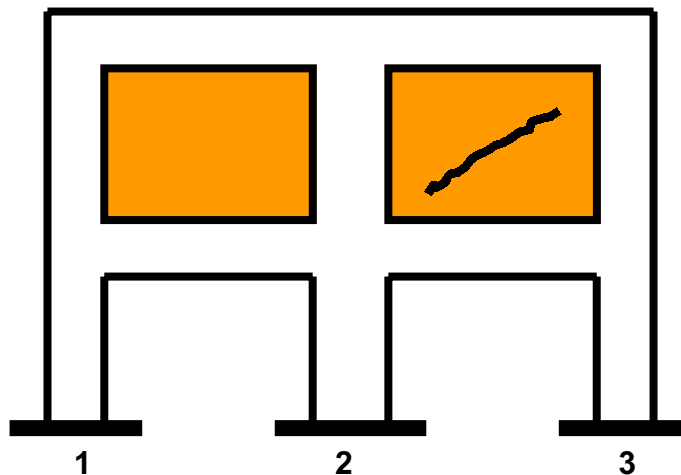


FIGURA 1

2. ¿Qué es una estructura?

La estructura como “camino de cargas”

Se definirá una **estructura resistente** como: “el conjunto de elementos materiales destinados a trasladar cargas en el espacio, desde puntos bien determinados a apoyo en el terreno natural”. En muchos casos, principalmente en edificios antiguos pero no sólo en ellos, resulta difícil discernir cuáles de sus elementos componentes son estructurales y cuáles no, pues no presentan una clara “estructura resistente” que soporte al resto de la construcción (cerramientos, revestimientos, solados, etc.).

Cómo trabaja una estructura

En principio, todo elemento de una construcción que sirva para trasladar cargas es estructural. El “trasladar una carga” requiere que el elemento material que lo efectúa

realice *trabajo estructural*, es decir, que al hacerlo se cargue y se deforme². Como parte de una respuesta al interrogante del punto anterior, se constata que en toda estructura las zonas menos deformables son las que más carga soportan. Cuando se trata de un único material el darse cuenta de lo que ocurre es más o menos sencillo³, pero cuando hay más de uno trabajando en paralelo resulta muy dificultoso, por no decir imposible, discernir cuánto trabaja cada uno. Parte del problema radica en que la ciencia mediante la que se interpreta el comportamiento resistente de los cuerpos materiales, la Resistencia de Materiales, es rudimentaria e inadecuada, pues no conduce, en casos como el presente, a soluciones *suficientemente* precisas. En realidad se necesitarían varias “resistencia de materiales” cuyas hipótesis básicas respondiesen a las diversa cualidades de los distintos materiales utilizados.

Condiciones de existencia de una estructura

Trasladar cargas implica la existencia tanto de esfuerzos cuanto de deformaciones, son como las dos caras de una misma moneda. Para que un elemento resistente sea “estable”, es decir, para que realice su trabajo sin sufrir daños en sus aptitudes ni disminución en sus prestaciones, los esfuerzos deben estar equilibrados y las deformaciones deben ser compatibles, tanto con las propiedades del material que lo constituye cuanto con todo otro tipo de elemento que sobre él descansa. En otras palabras las estructuras, para ser *estables*, deben cumplir condiciones de equilibrio y de compatibilidad. Las condiciones de **equilibrio** indican que, en todo tiempo y en cualquiera de sus partes, la suma de las reacciones debe ser igual y de sentido contrario a las cargas que equilibran (fig. 2). Los problemas de **compatibilidad**

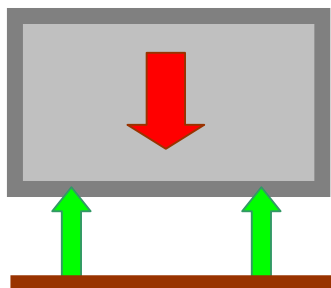


FIGURA 2

conducen a dos condiciones: 1) que las deformaciones que sufre el elemento resistente sean compatibles con las posibilidades del material que lo constituye (caso del tirante de fig. 3); 2) que los elementos a él vinculados puedan absorber sus deformaciones sin sufrir daños (caso de la pared apoyada sobre el tirante, fig. 4).



FIGURA 3

² Se define “trabajo” como el producto de una fuerza por una distancia que la fuerza recorre.

³ Un interesante ejemplo de esta característica lo constituyen las paredes perimetrales del Panteón de Roma.

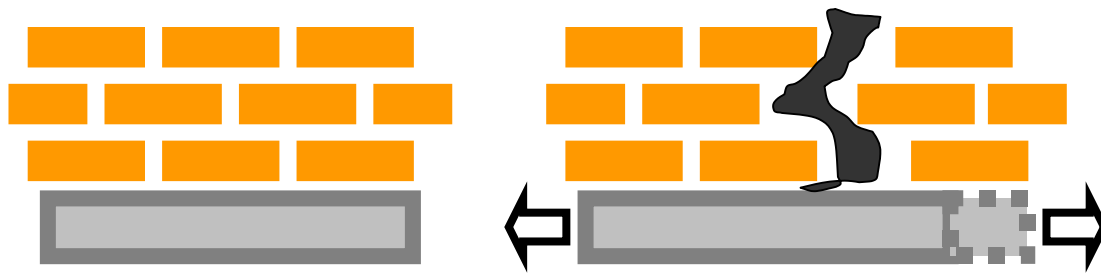


FIGURA 4

3. Algunas patologías estructurales comunes y sus causas

Descensos de apoyos

El terreno al nivel de las fundaciones, por alguna causa⁴, sufre modificaciones en su cota. En materiales frágiles pertenecientes o adosados a la estructura, esto ocasiona un esquema de fisuras perfectamente reconocible. Para poder subsanar el problema debe determinarse con suficiente precisión la causa del “hundimiento”.

Esfuerzos no compensados

En toda construcción y en cualquiera de sus partes pueden aparecer, por variadas circunstancias, esfuerzos no compensados. Por ejemplo los arcos, para conservar su forma, requieren reacciones horizontales cuyo valor depende de dicha forma, más concretamente de la “flecha” del arco; si estas reacciones no son suficientes el arco se deforma, pero al hacerlo disminuye su flecha con lo que el problema se agrava; una vez iniciado el proceso pueden ocurrir dos cosas: 1) que en algún momento, o mejor dicho, que para alguna configuración la estructura que comprende al arco encuentra la forma de generar las reacciones necesarias y se establezca una nueva situación de equilibrio; o, 2) que esto no ocurra y que el arco colapse. Es común que los arcos, cuando por su forma sólo trabajan a compresión, se construyan con mampuestos (piedras o ladrillos), por lo que sus juntas no tienen ninguna resistencia a tracción, y, además, son excesivamente rígidos (o poco deformables); en estos casos, y en la primera de las posibilidades planteadas, el arco “pierde su línea” y los mampuestos sufren desplazamientos relativos unos respecto de otros.

Excesos de solicitaciones

Sobre todo en obras antiguas que continúan en uso, suele ocurrir que las solicitaciones a las que se encuentran expuestas superan en mucho las que debió soportar la construcción cuando fue edificada y, en el mejor de los casos, para las que fue proyectada. En este caso existen algunas soluciones evidentes: disminuir las caras y limitarlas en el futuro, reforzar los elementos portantes, o adicionar a estos nuevas piezas resistentes.

⁴ Pérdida de capacidad portante, aumento de las cargas que actúan, hundimiento.

Deterioro de los materiales

Normalmente todo material se deteriora en mayor o menor medida con el transcurso del tiempo, adicionalmente puede ocurrir que sufra acciones, o “ataques”, que aceleren el ritmo de este deterioro “natural”. En el primer caso hay que reemplazarlo o reconstituirlo; en el segundo, además, hay que determinar el tipo de agente o acción agresivos, eliminarlo o inhibirlo, y tomar las medidas necesarias para evitar que el ataque se repita en el futuro.

4. ¿Qué hacer frente a una estructura dañada?

Conceptos generales

En las situaciones normales, cuando una estructura o elemento portante muestra deterioros o defectos de funcionamiento, se los “repara” o “refuerza”; lo que significa, en el primer caso, que se subsana el deterioro y se eliminan sus causas, y, en el segundo, que además se procede a incrementar la resistencia que poseen al momento de realizar los trabajos⁵. Frente a construcciones incluidas en el concepto de “patrimonio cultural”, el asunto es algo diferente, y en este caso se habla de “restaurar” el edificio y, para diferenciarlo del anterior, de “consolidar” sus partes resistentes. Las definiciones de ambos términos son las siguientesⁱⁱ:

Restauración: “acción de actuar para retrotraer a un estado primitivo o, según una acepción más moderna y más actual, acción de intervenir a fin de conservar la obra de arte para transmitirla a las generaciones venideras”.

Consolidar: “acción de dar solidez o, en el caso de los edificios, de dar estabilidad estructural y seguridad. A menudo se la considera una actividad puramente técnica, pero en el caso de los edificios con valor artístico e histórico debe reconocérsele una diferencia sustancial con el simple acto técnico. La “consolidación” es también “restauración”, aunque referida a fines específicamente estructurales”.

En el sentido restringido del término la “consolidación” debiera limitarse a restablecer la consistencia original del complejo estructural; pero en la práctica deben incluirse también “reestructuraciones” y “adaptaciones” consistentes, en el primer caso, en el reemplazo total o parcial de los elementos estructurales y, en el segundo, en la incorporación de nuevos elementos estructurales complementarios de los existentes. Una de las causas de la necesidad de considerar las tres posibilidades consignadas, consisten en que entre los objetivos de toda intervención en una construcción se encuentra siempre el de respetar las normas de seguridad vigentes.

Forma de proceder

1) El objetivo de toda tarea de *consolidación* consiste en introducir mejoras en las características de estabilidad, compatibilidad y durabilidad de la construcción de que se trate, pero sin alterarla o, por lo menos, alterándola lo menos posible.

2) En estas condiciones, si bien se debe sacar provecho de los nuevos conocimientos de la ciencia y de la técnica aplicándolos cuando sea posible, resulta insoslayable guiarse por las técnicas constructivas y de proyecto de la época en que la obra se construyó.

⁵ Este “refuerzo” de la estructura puede volverla a sus condiciones resistentes iniciales o no.

3) Durante mucho tiempo, a través fundamentalmente del acero y del hormigón, se tendió a recrear las formas resistentes de los edificios antiguos pero adaptándolas a las modalidades de los nuevos materiales⁶.

4) Ello condujo, en la gran mayoría de los casos, a: intervenciones inútilmente pesadas que desnaturalizan el valor y la identidad del monumento; intervenciones excesivamente costosas; seguridades muchas veces ilusorias al estar basadas sobre modelos de cálculo no fiables; la imposibilidad de controlar la eficacia de la intervención efectuada, pues al superponer el trabajo del esquema resistente original, que no puede eliminarse, con elementos estructurales nuevos, se obtienen “híbridos” estructurales cuyo comportamiento resistente, basado en la interacción de sistemas estructurales realizados con materiales y tipologías diferentes, resulta imposible de discernir.

5) Para llegar a soluciones aceptables, tanto desde el punto de vista de la *conservación* de los valores culturales cuanto desde el de la *seguridad* que en toda sociedad actual una edificación debe ofrecer, hay que tener presentes las siguientes prioridades: el objetivo esencial, o *primera prioridad*, lo constituye la conservación de los valores culturales de la obra en cuestión, los que deben ser preservados de toda forma; el objetivo secundario o *segunda prioridad*, pero tan importante como el primero pues sin él aquel no puede existir, lo constituye el requerimiento de dar conveniente soporte y adecuada seguridad a la construcción que se debe preservar. En otras palabras, esto significa que no puede haber *restauración* de una construcción sin *consolidación* de sus elementos portantes pero, por otro lado, esta *consolidación* no debe afectar en lo más mínimo los valores esenciales que se quieren preservar mediante la *restauración*.

Referencias

ⁱ Torroja, Eduardo: “Razón y ser de los tipos estructurales”, Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, Madrid, primera edición de 1958.

ⁱⁱ De Cesaris, F: “La Restauration Statique”, Ministero Affari Esteri, Direzione Generale Cooperazione allo sviluppo, Italia, 1996.

⁶ Piénsese, por ejemplo, en las tan disímiles formas de resistir del gótico y del neogótico